

# TERMODINAMICA

## Applicazioni del secondo principio

ovvero

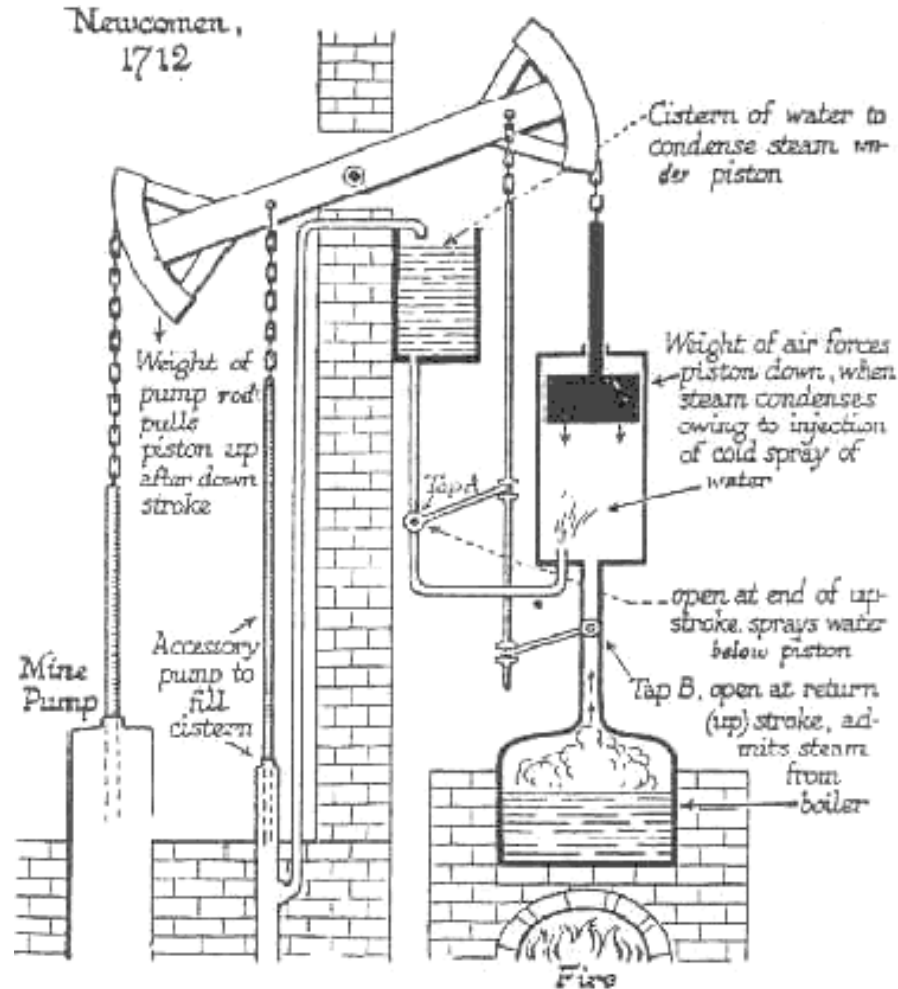
Macchine a vapore a combustione esterna:  
macchina di Newcomen e macchina di Watt

Macchine a vapore a combustione interna:  
Ciclo Otto, ciclo Diesel

Ciclo frigorifero

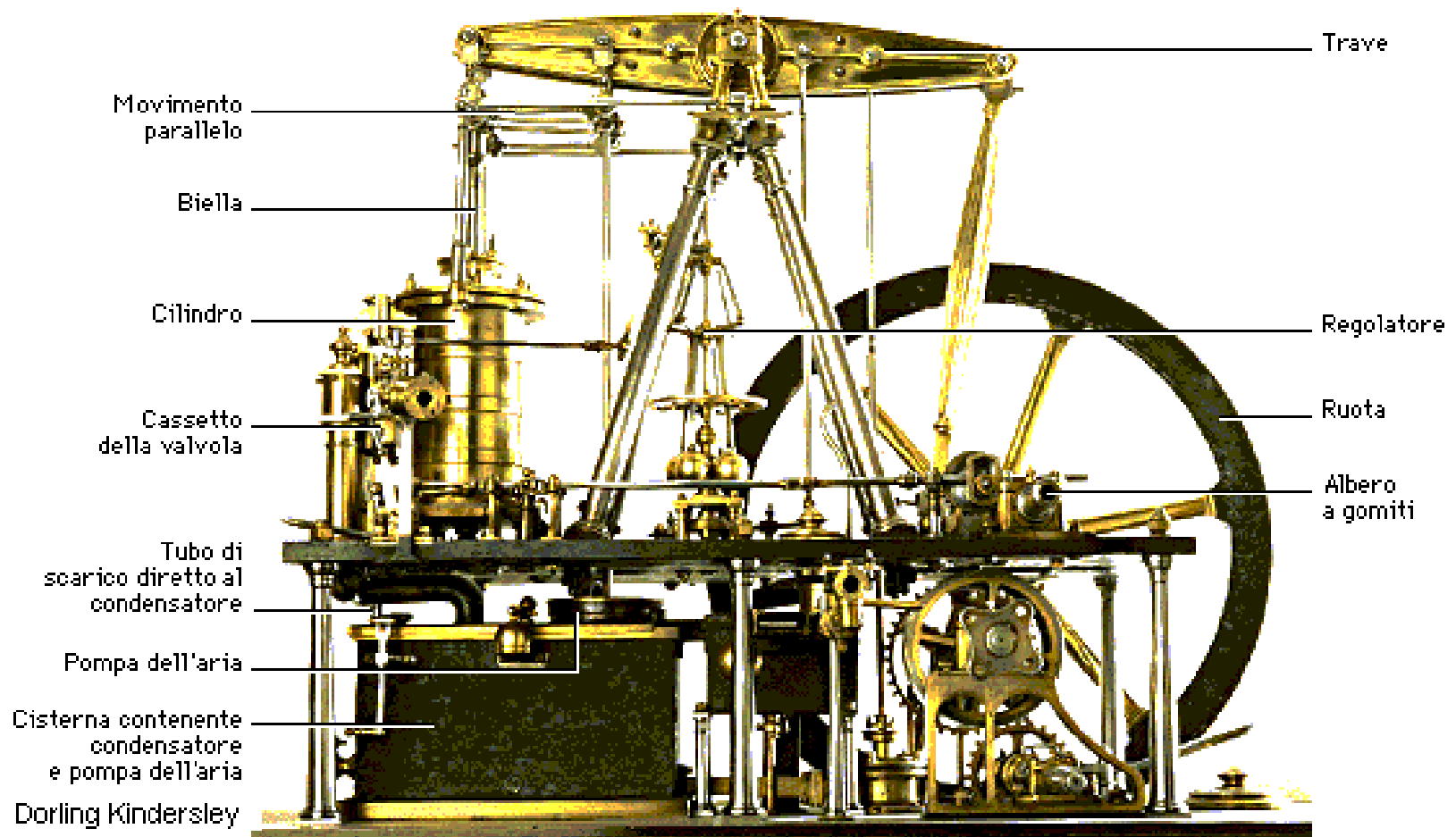
# Macchina a vapore di Newcomen - 1712 macchina a vapore a combustione esterna

La reale forza di questa macchina era il vuoto che si creava quando il vapore acqueo condensava.



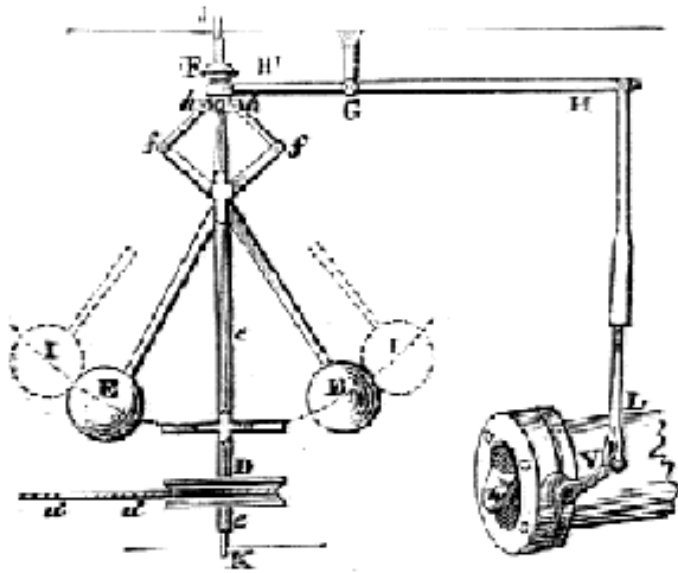
DIAGRAMMATIC VIEW OF NEWCOMEN'S ATMOSPHERIC OR FIRE ENGINE (1712)

# Macchina di Watt – 1787 usata dal 1788 nell'industria tessile inglese



Sistema biella – manovella; Cassetto a doppio effetto; regolatore centrifugo; Volano e cinghia dotrasmissione

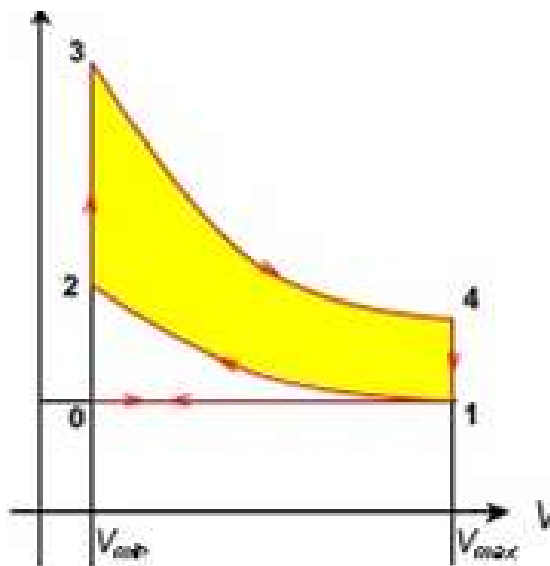
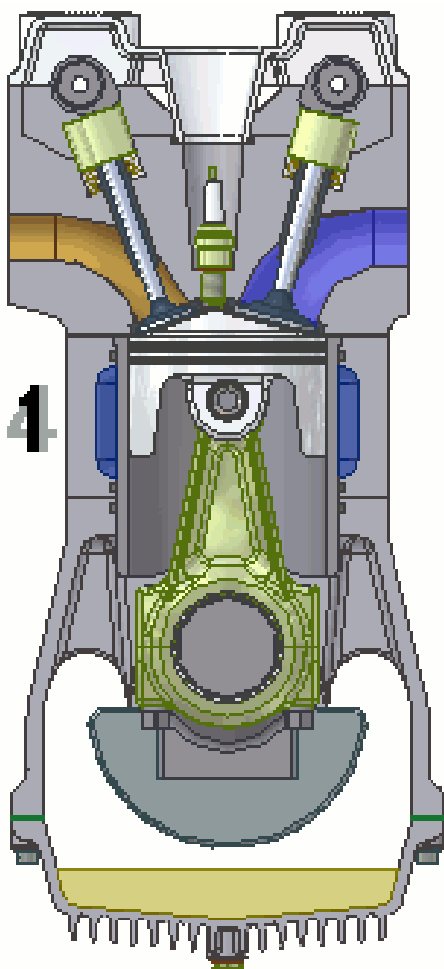
# Regolatore di Watt a forza centrifuga



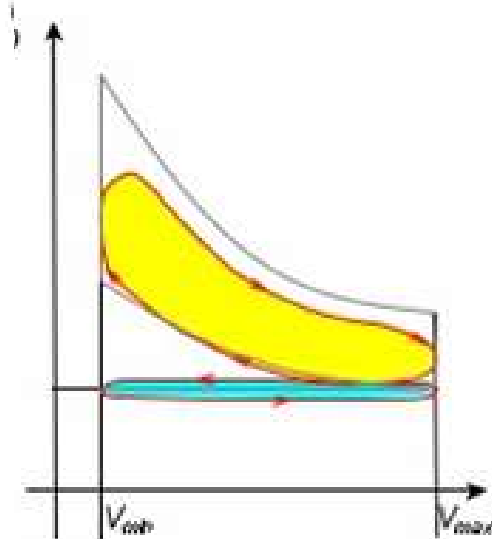
# Ciclo Otto - 1875

motore a scoppio

macchina termica a combustione interna



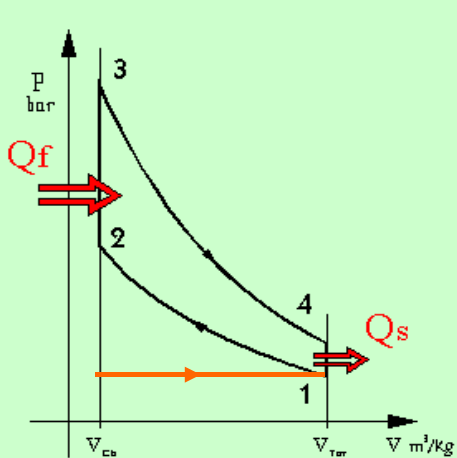
ciclo Otto ideale



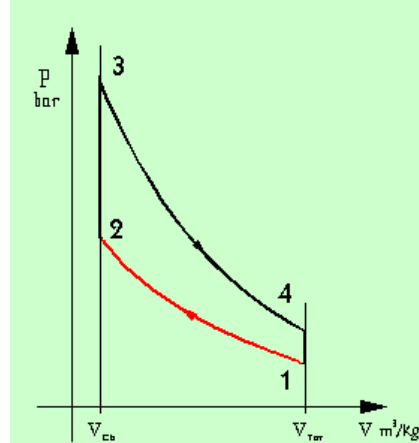
ciclo Otto reale

- 0-1: aspirazione
- 1-2: compressione
- 2-3: introduzione calore
- 3-4: espansione
- 4-1: sottrazione calore
- 1-0: scarico

4 tempi  
6 trasformazioni  
termodinamiche

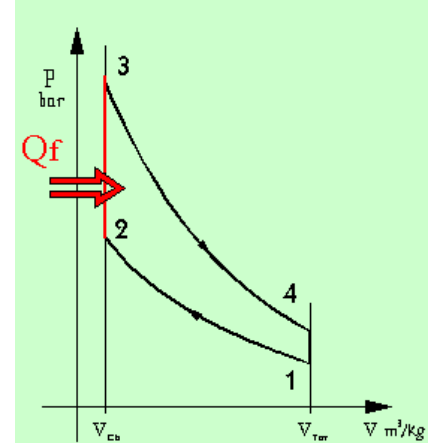


È la fase di aspirazione della miscela aria-benzina.  
Non fa parte del ciclo termodinamico



### Compressione adiabatica

Si comprime il gas senza scambi di calore, la temperatura e la pressione del gas aumentano.



### Isovolumica di riscaldamento

Si fornisce calore al gas mantenendo, la temperatura e la pressione aumentano.

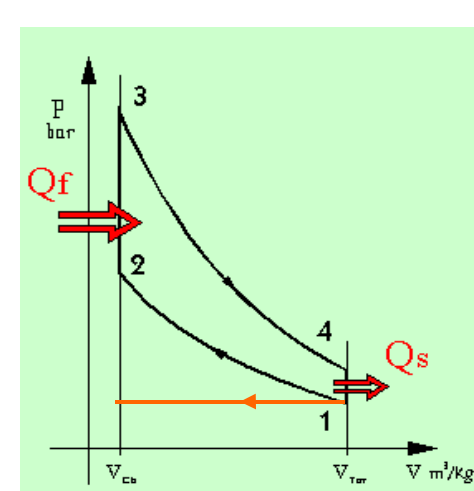
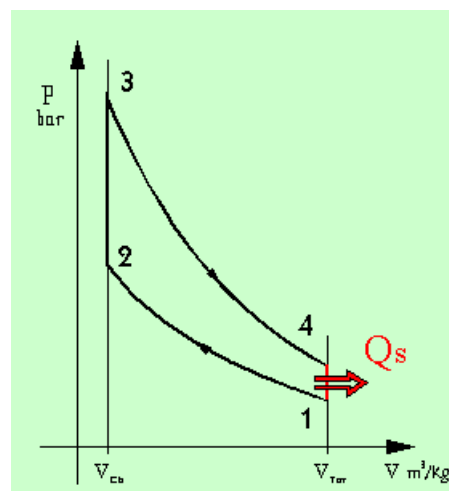
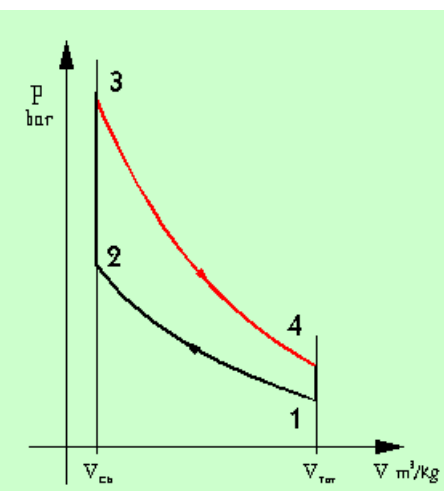
### Espansione adiabatica

Il gas si espande senza scambi di calore la temperatura e la pressione del gas diminuiscono.

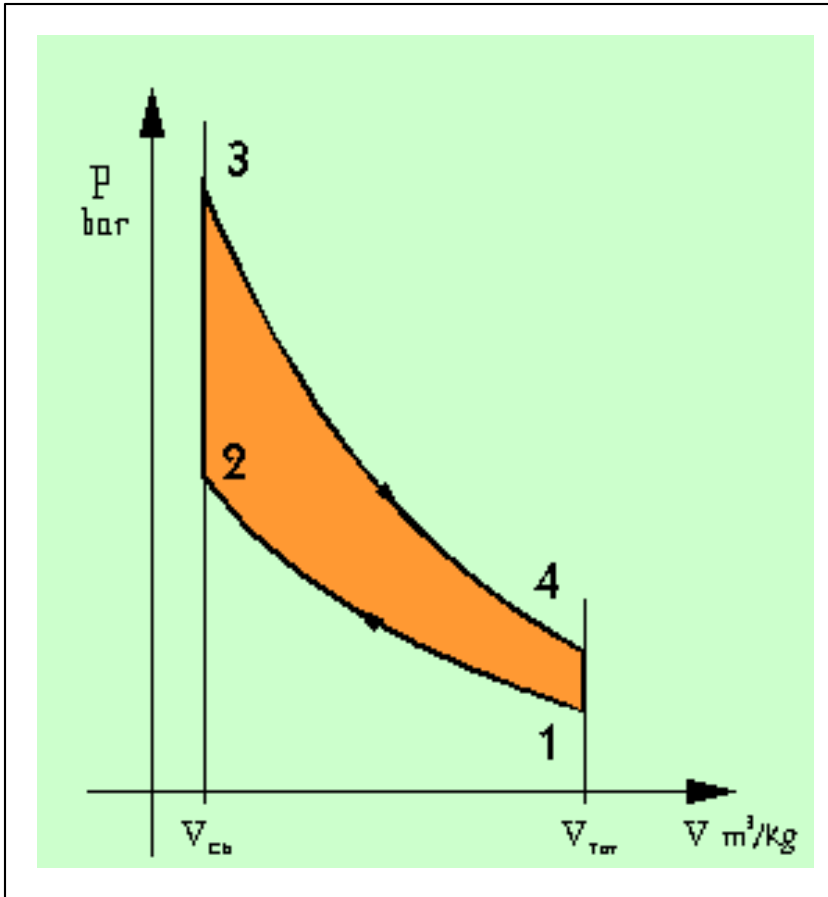
### Isovolumica di raffreddamento

Il gas viene raffreddato e riportato alle condizioni iniziali

È la fase di scarico e non fa parte del ciclo termodinamico



# Lavoro utile e rendimento



Il lavoro utile del ciclo è rappresentato dall'area interna al ciclo.

Il lavoro utile in ciascun ciclo di funzionamento è:

$$L = Q_2 - Q_1$$

Il rendimento reale è:

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$$

Il rendimento massimo ottenibile sarebbe:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Il Rendimento del ciclo Otto si calcola anche così:

$$\eta = 1 - \left( \frac{V_2}{V_1} \right)^{\gamma-1} = 1 - \frac{1}{\rho^{\gamma-1}}$$

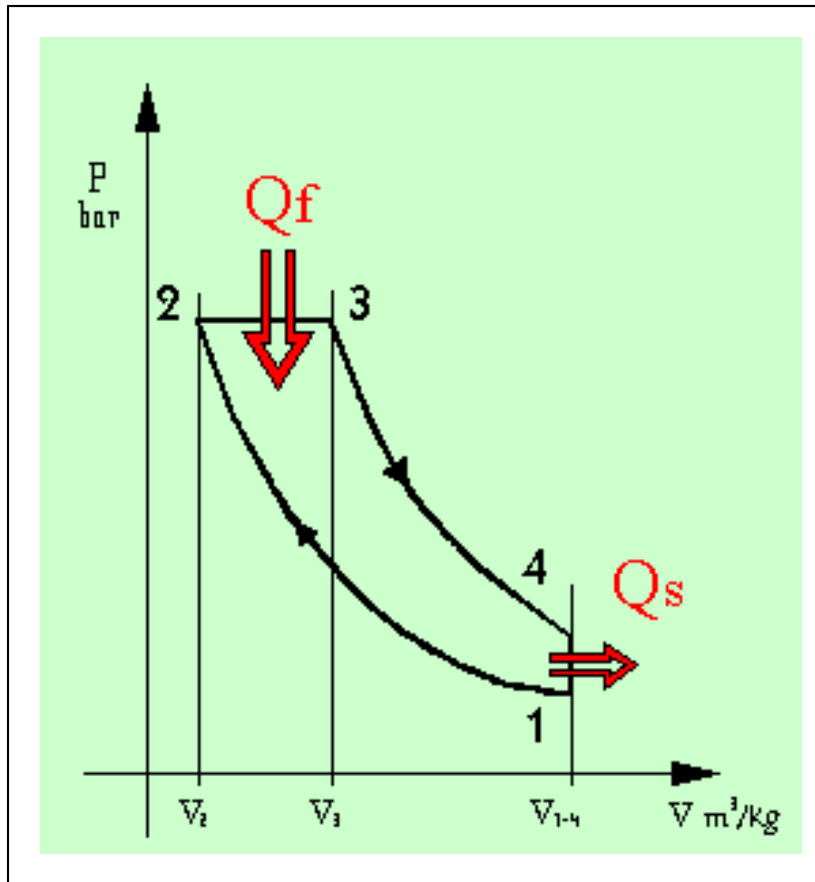
$\rho$  rapporto di compressione  $V_1/V_2$

$V_1$  = volume all'inizio della compressione, volume massimo a disposizione (il pistone è nel PMI)

$V_2$  = volume alla fine della compressione, volume minimo a disposizione (il pistone è nel PMS)



# Il ciclo Diesel - 1892

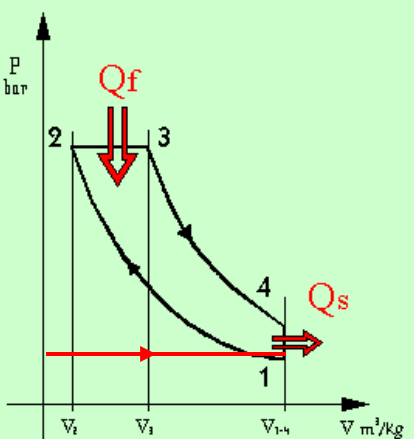


1-2 adiabatica di compressione

2-3 isobara in cui si fornisce calore

3-4 adiabatica di espansione

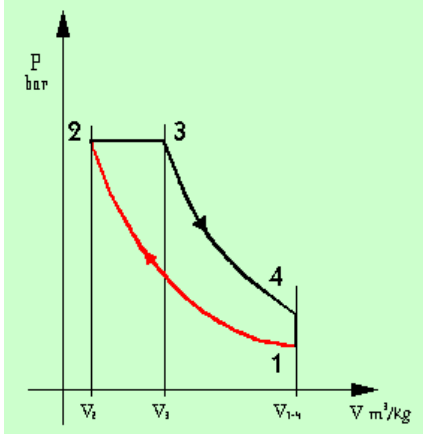
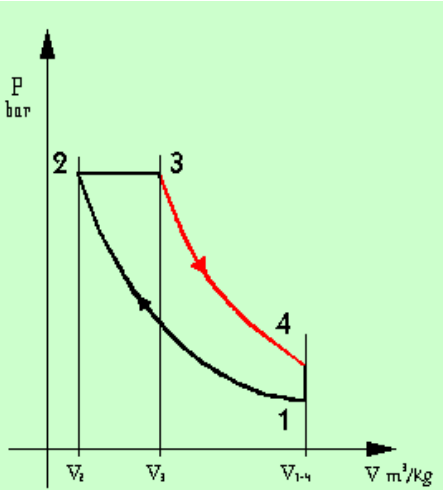
4-1 isovolumica in cui si sottrae calore ritornando alle condizioni iniziali



È la fase di aspirazione dell'aria.  
Non fa parte del ciclo termodinamico

**Espansione adiabatica**

Il gas si espande senza scambi di calore la temperatura e la pressione del gas diminuiscono.

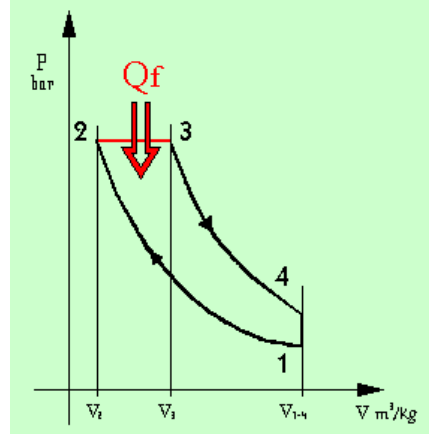
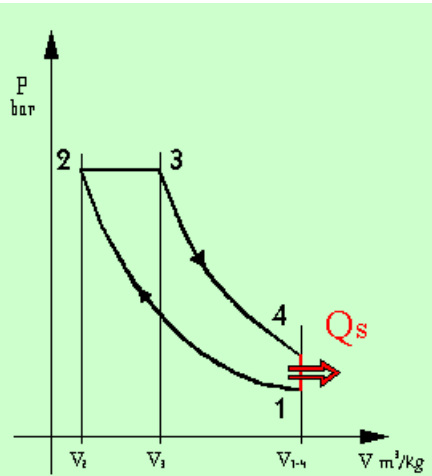


**Compressione adiabatica**

Si comprime l'aria senza scambi di calore, la temperatura e la pressione aumentano.

**Isovolumica di raffreddamento**

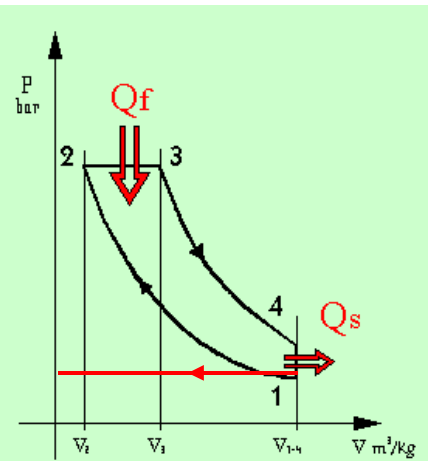
Il gas combusto viene raffreddato e riportato alle condizioni iniziali



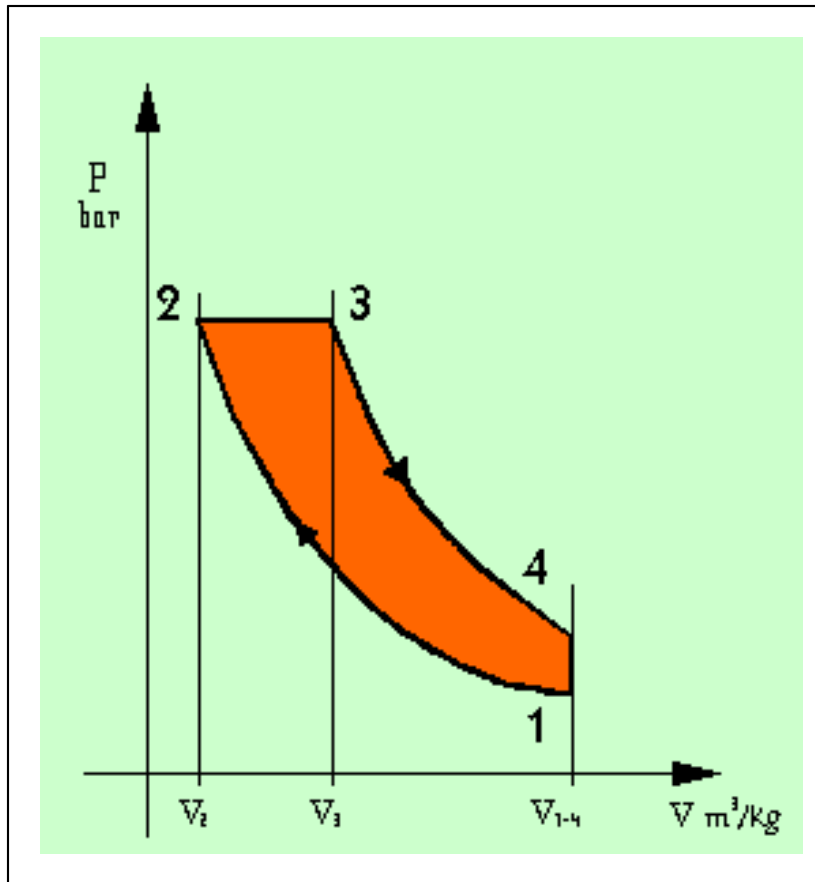
**Isobara di riscaldamento**

Iniezione del combustibile polverizzato e autocombustione

È la fase di scarico dei gas combusti e non fa parte del ciclo termodinamico



# Lavoro utile e rendimento



Il lavoro utile è rappresentato dall'area interna al ciclo.

Il lavoro utile in ciascun ciclo di funzionamento è:

$$L = Q_2 - Q_1$$

Il rendimento reale è:

$$\eta = 1 - \frac{Q_1}{Q_2}$$

Il rendimento massimo ottenibile sarebbe:

$$\eta_{\max} = 1 - \frac{T_1}{T_2}$$

Il rendimento del ciclo Diesel si calcola anche così:

$$\eta = 1 - \frac{\beta^\gamma - 1}{\rho^{\gamma-1} \gamma (\beta - 1)}$$

$\rho$  rapporto di compressione  $V_1/V_2$

$\beta$  rapporto di combustione  $V_3/V_2$

$\gamma$  = rapporto  $C_p/C_v$

$V_1$  = volume inizio compressione

$V_2$  = volume fine compressione

$V_3$  = volume di fine combustione

# Rendimenti a confronto

tratto da <http://www.vialattea.net/>

- Il ciclo Otto raramente può superare un rapporto di compressione 1/10 e ciò per evitare l'autoaccensione (battito in testa) che si verificherebbe durante la fase di compressione in quanto si comprime miscela già adatta a bruciare.
- Il ciclo Diesel ha invece bisogno di autoaccendersi, tanto lo fa solo dopo la fine della fase di compressione in cui si comprime solo aria. La combustione avviene idealmente tra gli stati 1 e 2 del diagramma. Un rapporto di compressione ottimale per un Diesel sta intorno a 1/22.
- Il rendimento teorico è del 44% contro il 37% del ciclo Otto.
- I cicli reali, però, sono ben lungi dal percorrere esattamente i tracciati teorici soprattutto agli alti regimi di giri.
- I rendimenti reali si attestano perciò su ben più modesti 25% per un Diesel e sotto il 15% per un motore a benzina.

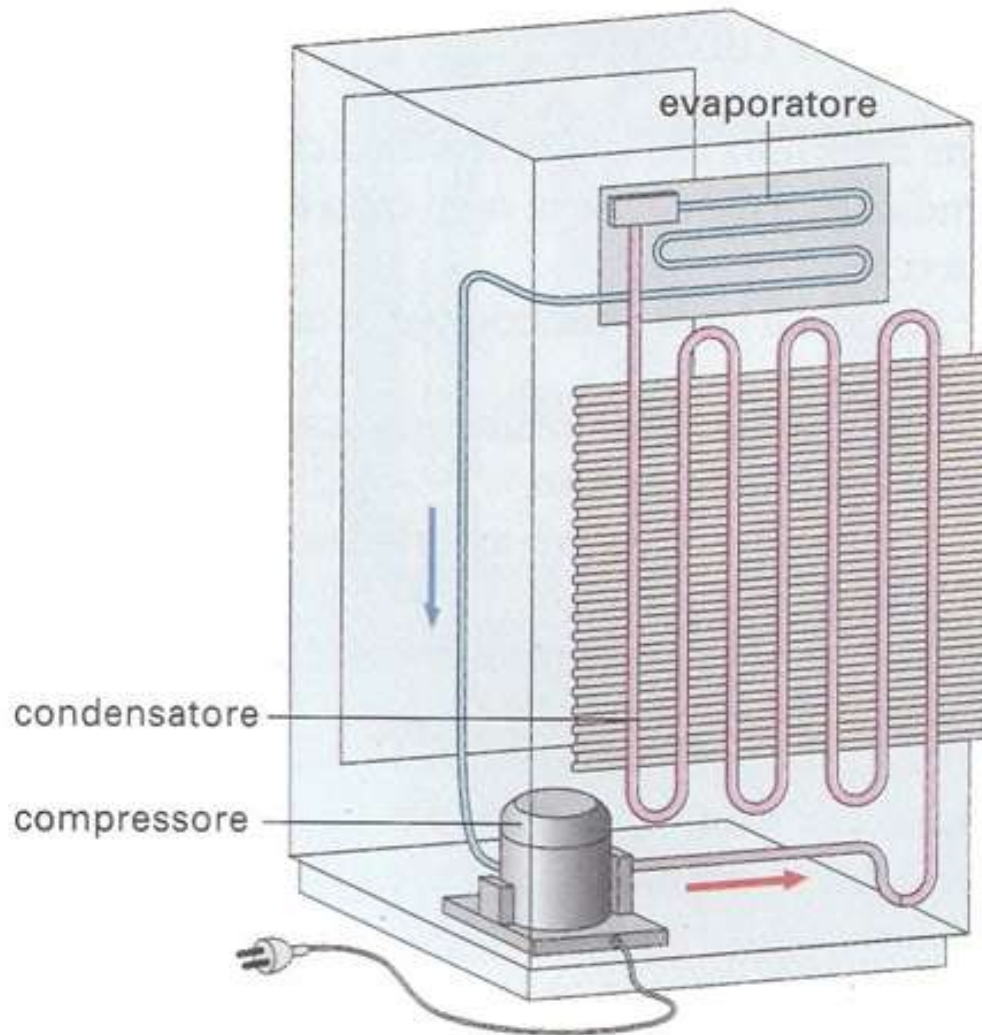
# II frigorifero

- Il **frigorifero** rimuove il calore dal suo interno (a bassa temperatura) e lo porta nell'ambiente circostante che si trova a temperatura più alta. **Il frigorifero raffredda gli alimenti ma riscalda la cucina.**
- A parità di lavoro compiuto dal compressore, maggiore è la quantità di calore rimosso, migliore è l'efficienza del frigorifero. L'efficienza è misurata dal **coefficiente di resa**, rapporto tra il calore rimosso e il lavoro necessario per rimuoverlo. In genere il coefficiente di resa si indica con la sigla **COP**.
- Valori tipici del COP sono compresi fra 2 e 6. Per esempio, se un frigorifero usa 100 J (Joule) di energia elettrica per rimuovere 200 J di calore, ha un coefficiente di resa:
- Durante il funzionamento, il motore del compressore spinge un gas ad alta pressione lungo una **serpentina** che sta sulla parte posteriore del frigorifero. Il gas nella serpentina si raffredda e diventa liquido cedendo calore all'ambiente esterno. Il liquido passa nei tubi interni del frigorifero; evapora a bassa pressione e quindi assorbe calore all'interno del frigorifero che si raffredda. Il fluido ritorna al compressore e il ciclo ricomincia.

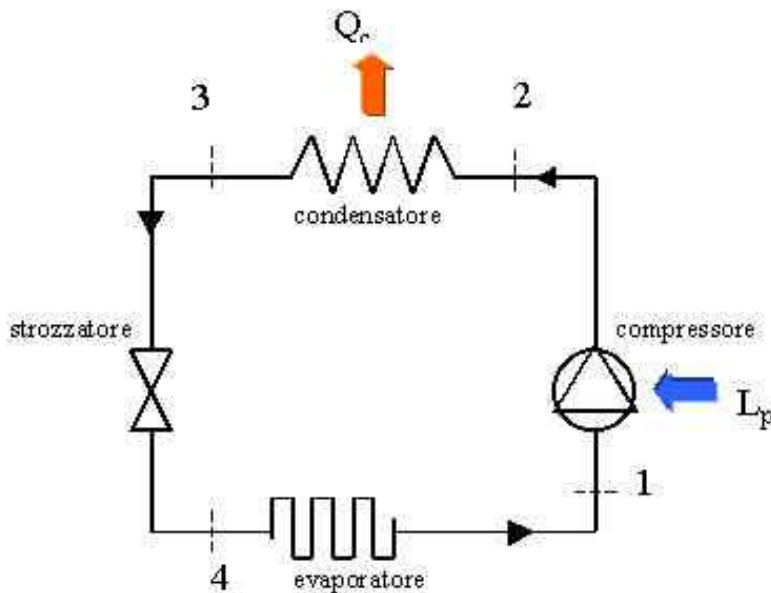
$$COP = \frac{Q_1}{L}$$

$$COP = \frac{200J}{100J} = 2$$

# Frigorifero



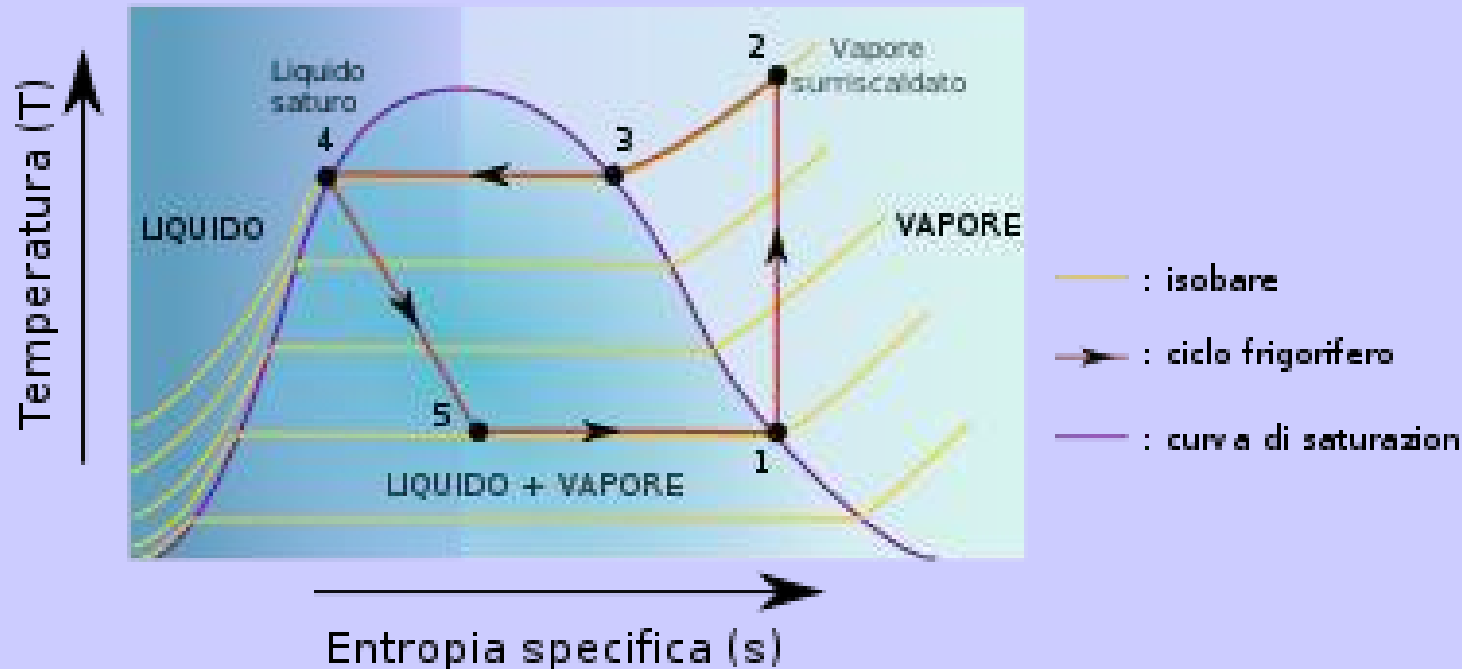
# frigorifero



- **1-2 compressore:** viene fornita energia (LAVORO  $L_p$ ) con cui il compressore esercita una compressione adiabatica reversibile sul fluido che lo attraversa provocandone l'innalzamento della pressione ed un notevole aumento di temperatura.
- **2-3 condensatore:** il fluido subisce un raffreddamento che avviene a pressione costante, in tal modo si ha una condensazione completa con conseguente emissione di CALORE ( $Q_c$ ).
- **3-4 strozzatore:** attraverso la valvola strozzatrice (o valvola di espansione) avviene una espansione in cui si abbassano pressione e temperatura del fluido refrigerante.
- **4-1 evaporatore** il calore viene sottratto dalla cella frigorifera (che quindi si raffredda) e dato al fluido che si trasforma in vapore.



# Ciclo frigorifero



- 1 - 2: Compressione del vapore
- 2 - 3: Raffreddamento del vapore surriscaldato nel condensatore
- 3 - 4: Condensazione del vapore
- 4 - 5: Raffreddamento del liquido
- 5 - 1: La miscela liquido+gas è completamente vaporizzata nell'evaporatore

# Pompa di calore o condizionatore reversibile

